

DLP 프린터로 제작된 레진 임시수복물의 3차원적 정확도 평가

강 월, 이희경
대구보건대학교 치기공과

A Study of Three-dimensional evaluation of the accuracy of resin provisional restorations fabricated with the DLP printer

Wol Kang, Hee-Kyung Lee

Department of Dental Laboratory, Daegu Health College

[Abstract]

Purpose: The purpose of this study was to evaluate the accuracy of the DLP 3D printer by conducting 3-dimensional assesment of resin provisional restorations.

Methods: The first premolar of the maxillary was prepared for the abutment. The abutment was scanned by using a scanner. The provisional restoration was designed by using CAD software. A total of 16 resin provisional restorations were produced using ZD200 and Veltz DLP 3D printer. Scanning was done of resin provisional restorations and 3-dimensional measurement was conducted for accuracy. The mean (SD) of RMS was reported for each group. Independent t-test was used to assess the statistical significance of the results. All analyses were done using SPSS 22.0.

Results: The mean \pm SD of RMS value for the accuracy of the resin provisional restorations that was fabricated by using ZD200 and Veltz DLP 3D printer were $50.85 \pm 4.64 \mu\text{m}$ and $70.33 \pm 6.31 \mu\text{m}$. Independent t-test showed significant differences between groups ($p < 0.001$).

Conclusion: The resin provisional restorations made with DLP 3D printers showed clinically acceptable accuracy.

● **Key words:** Accuracy, Crowns, Printing

Corresponding author	Name	이 희 경	Tel.	053-320-1868	E-mail	hkleee@dhc.ac.kr
	Address	대구광역시 북구 영송로15 대구보건대학교 치기공과				
Received	2020. 1. 31	Revised	2020. 3. 3	Accepted	2020. 3. 9	

I. 서론

치과용 CAD-CAM (Computer Aided Design-Computer Aided Manufacturing)은 자동화 시스템으로써 주로 인한 오차가 발생하지 않고 항상 일정한 결과와 생산성을 확보할 수 있다는 장점을 가지고 있다(Kim, 2012). 이러한 CAD-CAM은 크게 절삭가공과 적층가공의 방식으로 분류된다(Van noort, 2012). 절삭가공은 다양한 수복 치료에 이용되고 있는 방법으로, CNC (Computer Numerically Controlled) 기계를 사용하여 수지나 합금, 세라믹, 왁스 재료를 밀링하여 보철물을 제작하는 방식이다(Khaledi et al, 2019). 반대로 적층가공은 수지나 합금, 세라믹, 왁스 재료를 적층하여 보철물을 제작하는 방식으로 절삭가공 방식에 비해 보다 정밀하고 세밀한 공정이 가능하다는 장점이 있다(Choi et al, 2013).

이러한 장점들과 적층가공 방식 관련 주요 특허들이 만료되어 가격 경쟁력을 갖추게 됨에 따라 치과계에서도 적층가공 방식의 활용이 활발해 지고 있다(Lee & Lee, 2016). 특히 소형 장비로 가격이 저렴한 반면에 정밀도가 높은 레진 소재를 사용하는 SLA (Stereo Lithography Apparatus) 프린터와 DLP (Digital Light Processing) 프린터의 사용이 증가하였다(Shin et al, 2018). SLA와 DLP 프린터는 광경화성 액체 수지를 사용하여 광중합 반응을 이용해 고형화 시킨다는 원리는 같지만, 점(point) 단위로 출력이 진행되는 SLA 프린터보다 면(face) 단위로 출력이 진행되는 DLP 프린터의 제작 속도가 빠르다는 장점을 가지고 있다(Park et al, 2017). 이러한 이유로 최근에는 임시수복용 레진에 DLP 프린터가 주로 사용되고 있다(Park et al, 2019).

임시수복물은 최종 보철물을 수복하기 전, 삭제된 치아에 장착하는 수복물으로써 보철 치료에 있어서 중요한 과정 중의 하나이다. 특히, 삭제된 치아를 보호하고 치은의 건강을 유지하면서 치은 퇴축을 예방하기 위해서는 임시수복물의 정확도는 중요한 요소이다(Koumjian JH & Holmes JB, 1990).

ISO 12836(2012)에 따르면 정확도는 수복물의 정밀

성 평가에 있어서 가장 중요한 요소 중의 하나로서, 규정된 조건에서 얻어진 독립적인 측정 결과라고 정의하고 있다. 이러한 정확도에 영향을 미치는 요인으로는 모형제작과 스캐닝의 오차 및 CAM 과정에 의한 오차가 있다(Hamza et al, 2013). 이 중에서 CAM 과정의 오차는 모형제작 및 스캐닝의 오차에 비해 여러 가지 변수로 그 값이 큰 것으로 나타나고 있다(Cho & Lee, 2007, Cho et al, 2009, Schaefer et al, 2013). 특히 DLP 프린터의 경우에는 광 노출 시간 및 적층두께 이외에도 파장 및 출력량과 같은 여러 가지 변수들이 있다(Shin et al, 2017; Shin et al, 2018).

DLP 프린터의 정확도는 3차원 평가를 통해 객관적으로 분석할 수 있다(Kang et al, 2019). 기존에 사용하던 silicone replica 방법은 실험 중에 시편이 손상된다는 단점을 가지는 반면에 3차원적 평가 방법은 이를 방지함과 동시에 원하는 부위의 오차를 시각적으로 평가할 수 있다는 장점을 가지고 있다(Bindl & Mörmann, 2005; Persson et al, 2006). 이러한 이유로 최근에는 DLP 프린터와 기존의 절삭가공 방식 및 SLA 프린터의 정확도를 비교한 3차원적 연구가 이루어졌다. 현재까지 DLP 프린터로 제작한 임시수복용 레진의 정확도에 관한 연구로는 임플란트 수복물이나 치아로는 대구치를 지대치로 사용한 경우가 있었다(Kang et al, 2019; Kim et al, 2019). 그러나 소구치를 지대치로 사용한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 두 가지 기계로 제작된 DLP 프린터로 제작한 소구치를 지대치로 제작한 임시수복물의 정확도를 3차원적 분석을 통하여 평가하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 작업모형 선정

본 연구에서 레진 임시수복물을 제작하기 위해 사용한 작업모형은 상악 좌측 제1소구치 임상모형이다. 구치부 중에서 상악 소구치 같은 경우 스마일라인 상에서 육안으로 잘 보이기 때문에 주로 자연치와 같은 색

으로 제작이 이루어지고 있다. 따라서 최종보철물을 만들기 전까지 일반적으로 레진을 사용한 임시수복물을 제작하기 때문에 선정하게 되었다. 인상은 편측 트레이를 이용해 고무 인상재(Dublisil, Dreve Dentamid GmbH, Germany)로 채득하였고, 채득된 인상체에 초경석고(GC FujiRock EP, GC Corp., Japan)를 부어서 모형을 제작 하였다. 제작된 모형은 s-base(S-base partial, Bowon dental, Korea)를 사용하여 치형가철식 모형(Fig. 1)으로 제작한 후, 모델 스캐너(3shape E3 scanner, 3shape, Denmark)를 사용하여 3차원 형상 데이터로 제작하였다.



Figure 1. Working model.

2. 레진 임시수복물 제작

임시수복용 레진은 30 μ m의 시멘트 공간을 부여하여 디자인 프로그램(3shape Dental system, 3shape, Denmark)을 이용하여 디자인한 후, STL 파일로 최종 저장하였다.

디자인이 완료된 STL 파일은 출력조건을 100 μ m으

로 설정하여 두 개의 DLP 프린터에 적용하였다. 먼저 ZD200 프린터 (ZD200, DENTIS Co., LTD., USA)에 전용의 레진용액(ZMD-1000B TEMPORARY, DENTIS Co., LTD., USA)을 사용하여 8개의 임시수복용 레진을 동시에 출력하였다. 두 번째로 Veltz 3D 프린터(Veltz 3D, HEPHZIBAH., Korea)에 전용의 레진용액(DT-1 Temporary Teeth, HEPHZIBAH., Korea)을 사용하여 8개의 임시수복용 레진을 동시에 출력함으로써 총 16개의 임시수복용 레진을 제작하였다(Fig. 2). 제작이 완료된 레진 임시수복물은 여분의 레진을 세척하고 지지대를 제거한 후에 UV램프(MP100, Meong Moon Dental Co., Ltd., Korea)를 이용하여 최종 경화를 진행하였다.

3. 3차원 평가

3차원 평가를 진행하기 위해서 제작이 완료된 16개의 레진 임시수복물은 모델 스캐너(3shape E3 scanner, 3shape, Denmark)를 이용하여 3차원 형상 데이터로 제작하였다.

정확성을 평가하기 위해서 3차원 평가 프로그램(Geomagic Verify, Geomagic GmbH, Germany)을 사용하여 지대치와 임시수복용 레진의 불필요한 부분을 제거한 후에 중첩시켜서 Best fit alignment 시켰다(Fig. 3). 이어서 Difference images를 통해 3차원 비교를 한 후, 지대치와 16개의 임시수복용 레진 데이터 사이의 차이를 Root Means Square (RMS) 값으로 계산하였다. RMS 값의 공식은 아래와 같다.

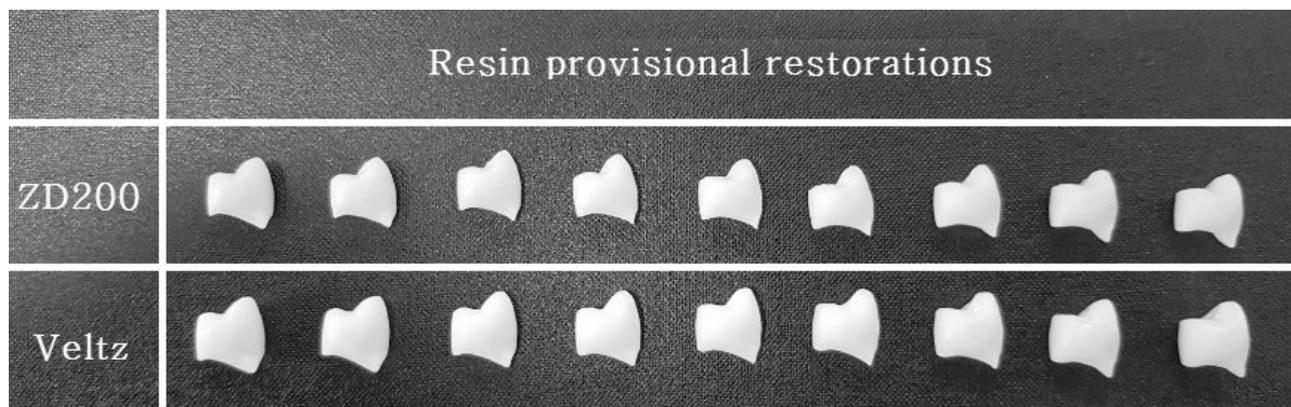


Figure 2. Resin Provisional restorations.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{1,i} - x_{2,i})^2}{n}}$$

여기서 X_1 은 reference die인 지대치의 측정 포인트를 뜻하며, X_2 는 임시수복용 레진 데이터를 뜻한다. 마지막으로 n 은 측정 포인트의 총수를 뜻하며, RMS 값이 낮을수록 정확성이 높은 것으로 평가한다.

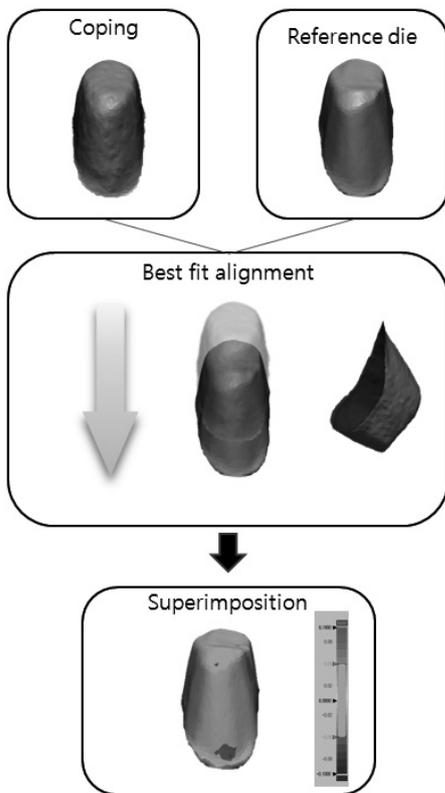


Figure 3. Best fit alignment.

4. 통계 분석

수집된 자료는 Statistical Package for Social Science(SPSS) 22.0 for windows를 이용하여 분석하였으며, 자료 처리를 위해 사용한 통계분석 방법은 다음과 같다. 정규성 검증인 Kolmogorov-Smirnov 검정을 실시하였고, 서로 다른 DLP 프린터로 제작한 임시수복용 레진 사이의 유의한 차이를 검증하기 위하여 독립표본 t 검정(Independent t-test)을 실시하였고, 통계적

판단을 위해서 제1종 오류의 수준을 0.05로 설정하였다.

III. 결과

ZD200과 Veltz 3D 프린터로 제작한 임시수복용 레진의 RMS 값은 table 1에 나타나 있다. 정량적 분석을 위해서 정규성과 등분산을 검증하였다. Kolmogorov-Smirnov 검정 결과, 유의확률이 ZD200은 0.161이고, Veltz는 0.200 이상으로 유의수준인 0.05보다 크므로 정규분포가 가정되었다. 등분산 검정 결과, F값이 0.133이고 유의확률이 0.721로 유의수준인 0.05보다 크므로 등분산은 가정되었다. 등분산 가정 하에서 독립표본 t 검정 결과, 유의확률은 0.001보다 작게 나타나 ZD200과 Veltz 3D 프린터로 제작한 임시수복용 레진 사이에는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며, ZD200 프린터로 제작한 임시수복용 레진의 RMS 값의 평균과 표준편차는 50.85 ± 4.64 로 나타났고, Veltz는 70.33 ± 6.31 로 나타났다($p < 0.001$). 특히, ZD200 프린터로 제작한 레진 임시수복물의 가장 큰 RMS 값은 56.0으로 나타났고, 가장 작은 값은 44.7로 나타났다. Veltz 3D 프린터로 제작한 레진 임시수복물의 가장 큰 RMS 값은 78.1로 나타났고, 가장 작은 값은 61.0으로 나타났다.

정성적 분석을 위해서 color-difference map을 Fig.

Table 1. Comparison of provisional restorative resins

(Unit: μm)

Variables	ZD200	Veltz
1	52.3	77.3
2	56	70.7
3	55.1	70.1
4	44.7	61.8
5	52.3	78.1
6	45.2	70.1
7	54.6	61
8	46.6	73.5
Mean(SD)	50.85(4.64)	70.33(6.31)
p-value	<0.001	

4에 제시하였다. 임계편차는 $\pm 100 \mu\text{m}$, 허용 공차범위(녹색)는 $\pm 50 \mu\text{m}$ 로 지정하였다. 빨간색으로 갈수록 reference die에 비해 양의 오차를 나타내고, 파란색으로 갈수록 reference die에 비해 음의 오차를 나타내는 것인데, ZD200에 비해서 Veltz 3D 프린터로 제작한 임시수복용 레진에서 빨간색과 파란색의 비율이 더 넓게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 특히 Veltz 3D 프린터로 제작한 임시수복용 레진의 협측 치경 1/3 부위에서 음의 오차가 두드러지게 나타났다.

IV. 고찰

일반적으로 임시수복용 레진의 제작은 자가중합형 레진을 사용하여 혼합 및 축성하거나 절삭가공 방식을 이용하여 제작되었다(Park & Bae, 2016; Guth et al, 2012). 그러나 최근에는 DLP 프린터의 속도 및 정확도가 우수해짐에 따라 DLP 프린터를 이용한 임시수복용 레진의 제작이 활발해졌다(Kang et al, 2019). 그러나 아직까지 소구치 모델에 서로 다른 DLP 프린터로 제작한 레진 임시수복물의 정확도에 관한 연구는 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 각각 다른 제조사의 DLP 프린터를 사용하여 레진 임시수복물을 제작하고 3차원 평가방식을 이용하여 정확성을 측정하였다.

일반적으로 내면 정확성의 임상적 수용 가능성에 대한 임계치 기준으로 제시되는 값은 $100 \mu\text{m}$ 미만이다. 내면의 공극이 $100 \mu\text{m}$ 이상일 경우에는 시멘트가 누출되거나 마진 부분에 치태의 침착이 일어나 치은에 염증을 유발시킬 수 있기 때문이다(J ørgensen & Esbensen,

1968). 따라서 본 연구에서는 정확성의 임계치 값으로 $100 \mu\text{m}$ 를 설정하였다.

정량적 평가 결과, ZD200과 Veltz 3D 프린터로 제작한 임시수복용 레진의 평균값은 $100 \mu\text{m}$ 미만으로 임상적으로 허용 가능한 정확성을 나타내었다. 그러나 ZD200 3D 프린터로 제작한 임시수복용 레진의 정확성이 Veltz 3D 프린터로 제작한 임시수복용 레진의 정확성보다 높은 것으로 나타났다. 또한 color-difference map을 살펴보면 ZD200에 비해 Veltz 3D 프린터로 제작한 레진 임시수복물의 협측 치경 1/3 부위에 음의 오차가 두드러지게 나타났다. 이는 각각의 기계에 사용한 레진의 중합 수축에 의한 차이일 것으로 사료된다. 선행연구에 따르면 지대치의 둥글고 부드러운 표면 및 각도가 수복물의 내부 변형을 감소시킬 수 있는 반면에, 지대치 표면 각도가 급하게 좁아지거나 얇은 부분이 있을 경우 수복물 내의 응력을 증가시킬 수 있다고 하였다(Schaefer et al, 2012). 본 연구에 사용된 임상 모델 소구치에 디자인된 STL 파일을 살펴보면 협측 치경 1/3 부위가 인접한 다른 부위에 비해 상대적으로 얇은 것으로 나타났고, 이러한 변수가 3D 프린터로 적층 시 진행되는 광경화나 적층 후 진행되는 후경화 시 레진의 특성에 따라 중합 수축을 더 발생시킨 것으로 사료된다. Kang(2019)의 연구에 의하면 기성 임플란트 모델에 ZD200 3D 프린터로 제작한 임시수복용 레진의 평균 RMS 값이 43.09인 것으로 나타나 본 연구 결과보다 정확성이 높은 것으로 나타났다. Kim(2019)의 연구에 의하면 임상 모델 대구치에 Veltz 3D 프린터로 제작한 임시수복용 레진의 평균 RMS 값은 74.63으로 나타나 본 연구 결과보다 정확성이 약간 낮은 것으로 나타났으며, 이러한 차이 역시

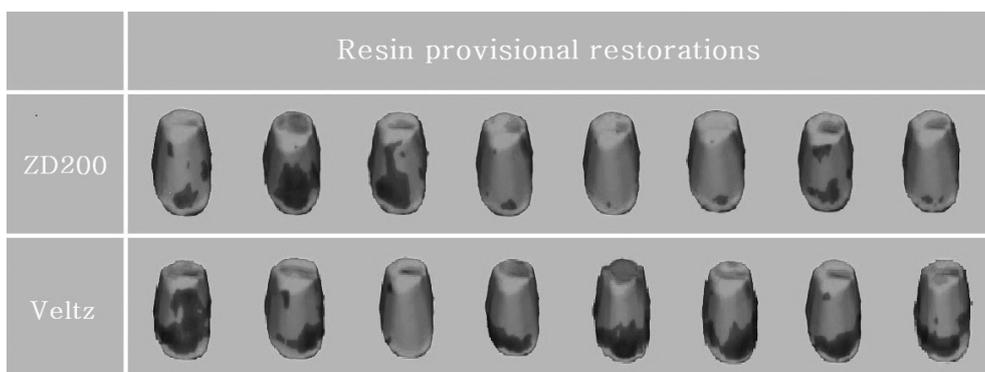


Figure 4. Color-difference-map of provisional restorative resins.

지대치 디자인에 기인한 것으로 사료된다. 기성 임플란트 모델의 어버트먼트는 표면과 각도가 일률적이고, 상대적으로 일반 지대치에 제작되는 수복물에 비해 일률적인 두께 확보가 가능하기 때문에 본 연구에 사용된 소구치 수복물보다 중합 수축이 덜 일어난 것으로 사료된다. DLP 프린터를 사용해 치아모형을 제작해서 정확도를 분석했던 선행연구에서도 특정 부위가 중합 수축에 의해 100 μ m 이상의 오차가 발생했다고 보고했다(Shin et al, 2018). 따라서 임상모델의 지대치에 DLP 3D 프린터를 사용하여 임시수복용 레진을 제작 시, 디자인 과정에서 레진의 두께를 가능한 한 일률적으로 설정해 준다면 레진의 중합수축을 줄임으로써 전체적인 변형을 줄일 수 있다는 발견에서 임상적 의의가 있었다.

한편 본 연구의 한계점으로는 각각의 DLP 장비마다 설정된 파장 및 출력량이 다를 수 있기 때문에 이로 인한 오차는 제어하기에 한계가 있었을 것으로 사료된다.

V. 결론

본 연구는 두 개의 DLP 프린터로 제작되어진 레진 임시수복물의 정확성을 3차원 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. ZD200과 Veltz 3D 프린터로 제작한 임시수복용 레진은 임상적으로 허용 가능한 정확성을 나타내었다.
2. ZD200이 Veltz 3D 프린터로 제작한 임시수복용 레진보다 정확도가 더 높은 것으로 나타났고, 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다.

REFERENCES

- Bindl, A, Mörmann WH. Marginal and internal fit of all ceramic CAD/CAM crown copings on chamfer preparations. *J Oral Rehabil*, 32(6), 441-447, 2005.
- Cho BM, Lee DJ. A study on cutting characteristics according to cutting direction in ball-end milling. *Trans of KSMTE*, 16(5), 191-197, 2007.
- Cho BM, Yoo IS, Lee DJ. A study on the geometric characteristics according to semi-cylindrical tool path in ball-end milling. *Trans of KSMTE*, 5, 362-367, 2009.
- Choi EJ, Kim SA, Bae JY, Kwon YJ, Lee KH. A Study on the State-of-the-Art of 3D Printers. *JKSCI*, 21(2), 385-388, 2013.
- Guth JF, Almeida E Silva JS, Ramberger M, Beuer F, Edelhoff D. Treatment concept with CAD/CAM fabricated high-density polymer temporary restorations. *J Esthet Restor Dent*, 24(5), 310-318, 2012.
- Hamza TA, Ezzat HA, EI-Hossary MMK, EI Megid katamish HA, Shokry TE, Rosentiel SF. Accuracy of ceramic restorations made with two CAD/CAM systems. *J Prosthet Dent* 109(2), 83-87, 2013.
- ISO. ISO 12836:2012 Dentistry – Digitizing devices for CAD/CAM systems for indirect dental restorations – Test methods for assessing accuracy. ISO, Geneva, 2012.
- J ørgensen KD, Esbensen AL. The relationship between the film thickness of zinc phosphate cement and the retention of veneer crowns. *Acta Odontol Scand* 26(3), 169-175, 1968.
- Kang W, Kim MS, Kim WG. Assessment of Internal Fitness on Resin Crown Fabricated by Digital Light Processing 3D Printer. *J Den Hyg Sci*, 19(4), 238-244, 2019.
- Kim HS. Fabrication of custom abutment using dental CAD/CAM system. *J Korean Dent Assoc*, 50(3), 118-125, 2012.
- Kim MS, Kim WG, Kang W. Evaluation of the accuracy of provisional restorative resins fabricated using dental 3D printers. *J*

- Korean Soc Dent Hyg, 19(6), 1087–1097, 2019.
- Koumjian JH, Holmes JB. Marginal accuracy of provisional restorative materials. *J Prosthet Dent*, 63(6), 639–642, 1990.
- Khaledi AA, Farzin M, Akhlaghian M, Pardis S, & Mir N. Evaluation of the marginal fit of metal copings fabricated by using 3 different CAD–CAM techniques: Milling, stereolithography, and 3D wax printer. *J Prosthet Dent*, In press, 2019.
- Lee JS, LEE JJ. A study on the development of fashion design based on FDM 3D printing. *Journal of Fashion Design*, 16(1), 101–115, 2016.
- Park JW, Bae SS: Color stability of self-cured temporary crown resin according to different surface treatments. *J Dent Hyg Sci*, 16(2), 150–156, 2016.
- Park SJ, Lee HA, LEE SH, Seok SH, Lim BS, Kwon JS, Kim KM. Comparison of physical properties of the various 3D printing temporary crown and bridge resin. *Kor J Dent Mater*, 46(3), 139–152, 2019.
- Park SW, Jung MW, Son YU, Kang TY, Lee CH. Development of Multi-Material DLP 3D Printer. *Journal of the KSMTE*, 26(1), 100–107, 2017.
- Persson A, Andersson M, Oden A, Sandborgh-Englund G. A three-dimensional evaluation of a laser scanner and a touch-probe scanner. *J Prosthet Dent*, 95(3), 194–200, 2006.
- Schaefer O, Kuepper H, Thompson GA, Cachovan G, Hefti AF, Guentsch A. Effect of CNC-milling on the marginal and internal fit of dental ceramics: A pilot study. *Dent Mater*, 29(8), 851–858, 2013.
- Schaefer O, Watts DC, Sigusch BW, Kuepper H, Guentsch A. Marginal and internal fit of pressed lithium disilicate partial crowns in vitro: a three-dimensional analysis of accuracy and reproducibility. *Dent Mater*, 28(3), 320–326, 2012.
- Shin DH, Park YM, Park SH. Correlation between UV-dose and Shrinkage amounts of Post-curing Process for Precise Fabrication of Dental Model using DLP 3D Printer. *KSMPE*, 17(2), 47–53, 2018.
- Shin GS, Kweon HK, Kang YG. The influence of experiment variables on DLP 3D printing using ART resin. *KSMPE*, 16(6), 101–108, 2017.
- Shin GS, Kweon HK, Kang YG. Study on the hardness of DLP 3D printer according to wavelength and light power. *Proceeding of the KSMPE Conference*, 181–182, 2018.
- Van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater*, 28(1), 3–12, 2012.